

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2003-161708

(P2003-161708A)

(43) 公開日 平成15年6月6日 (2003.6.6)

(51) Int.Cl. ⁷	識別記号	F I	テーマコード*(参考)
G 0 1 N 23/20		G 0 1 N 23/20	2 G 0 0 1
G 0 2 B 1/02		G 0 2 B 1/02	2 H 0 4 8
1/11		5/26	2 K 0 0 9
5/26		G 0 3 F 7/20	5 2 1 5 F 0 4 6
G 0 3 F 7/20	5 2 1	G 0 2 B 1/10	A
審査請求 未請求 請求項の数16 O L (全 13 頁) 最終頁に続く			

(21) 出願番号 特願2001-363584 (P2001-363584)

(22) 出願日 平成13年11月29日 (2001.11.29)

(71) 出願人 000004112

株式会社ニコン

東京都千代田区丸の内3丁目2番3号

(72) 発明者 佐久間 繁

東京都千代田区丸の内3丁目2番3号 株

式会社ニコン内

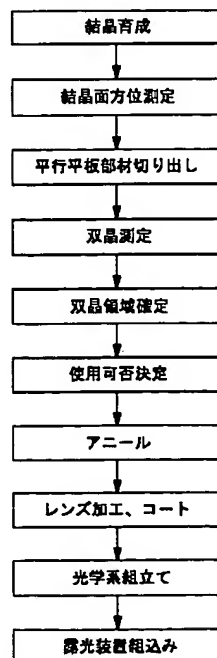
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 光リソグラフィー用光学部材及びその評価方法

(57) 【要約】

【課題】 結像性能が良好なフッ化物結晶からなる光学素子を提供する。

【解決手段】 フッ化物結晶からなる光リソグラフィー用光学部材の評価方法において、光学部材の結晶面方位を測定する工程と、測定の結果に基づいて双晶の領域を特定する工程とを有する構成とする。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 フッ化物結晶からなる光リソグラフィー用光学部材の評価方法において、前記光学部材の結晶面方位を測定する工程と、前記測定の結果に基づいて双晶の領域を特定する工程と、を有することを特徴とする光学部材の評価方法。

【請求項2】 請求項1に記載の光学部材の評価方法において、前記光学部材から製造する光学素子の有効領域に対して、前記特定した双晶の領域が占める割合を算出する工程と、を有することを特徴とする光学部材の評価方法。

【請求項3】 請求項1および2に記載の光学部材の評価方法において、前記光学部材の結晶面方位を測定する工程は、X線を前記光学部材に照射することにより行なうことを特徴とする光学部材の評価方法。

【請求項4】 請求項3に記載の光学部材の評価方法において、前記X線を前記光学部材に照射することにより行なう工程は、ラウエ法であることを特徴とする光学部材の評価方法。

【請求項5】 請求項4に記載の光学部材の評価方法において、ラウエ法は側面反射型であることを特徴とする光学部材の評価方法。

【請求項6】 請求項1ないし5に記載の光学部材の評価方法において、前記双晶の領域は、前記光学部材から製造する光学素子の有効領域内における前記双晶の領域の光軸方向へ投影した領域の面積の和であり、前記光学素子の有効領域は、前記光学素子の有効径面積であることを特徴とする光学部材の評価方法。

【請求項7】 請求項1ないし5に記載の光学部材の評価方法において、前記双晶の領域は、前記光学部材から製造する光学素子の有効領域内における前記双晶の領域の光軸方向へ投影した領域の面積の和であり、前記光学素子の有効領域は、前記光学素子のパーシャル径面積であることを特徴とする光学部材の評価方法。

【請求項8】 請求項6に記載の光学部材の評価方法において、前記光学素子の有効領域内における前記双晶の領域の光軸方向へ投影した領域の面積の和が、前記光学素子の有効径面積に占める割合が、10%以下の場合に使用可能と判断する工程であることを特徴とする光学部材の評価方法。

【請求項9】 請求項7に記載の光学部材の評価方法において、前記光学素子の有効領域内における前記双晶の領域の光

軸方向へ投影した領域の面積の和が、前記光学素子のパーシャル径面積に占める割合が、10%以下の場合に使用可能と判断する工程であることを特徴とする光学部材の評価方法。

【請求項10】 波長250nm以下の波長帯域で使用される光リソグラフィー用光学部材であって、前記光学部材から製造する光学素子の前記双晶の領域の光軸方向へ投影した領域の面積の和が、前記光学素子の有効径面積に占める割合が、10%以下であることを特徴とする光学部材。

【請求項11】 波長250nm以下の波長帯域で使用される光リソグラフィー用光学部材であって、前記光学部材から製造する光学素子の前記双晶の領域の光軸方向へ投影した領域の面積の和が、前記光学素子のパーシャル径面積に占める割合が、10%以下であることを特徴とする光学部材。

【請求項12】 波長250nm以下の特定波長帯域で使用される光リソグラフィー用光学系の製造方法であって、請求項10または11に記載の光学部材に対して、研磨工程、研磨工程、および反射防止膜または反射膜のコーティングを施すことで所定の形状の光学素子を製造し、前記光学素子を鏡筒に組込むことで光学系を構成することを特徴とする光リソグラフィー用光学系の製造方法。

【請求項13】 波長250nm以下の特定波長帯域で使用される光リソグラフィー用露光装置の製造方法であって、請求項10または11に記載の光学部材に対して、研磨工程、研磨工程、および反射防止膜または反射膜のコーティングを施すことで所定の形状の光学要素を製造し、前記光学要素を鏡筒に組込むことで光学系を構成し、前記光学系を所定の位置に取り付けることを特徴とする光リソグラフィー用露光装置の製造方法。

【請求項14】 波長250nm以下の特定波長帯域で使用される光リソグラフィー用光学系であって、請求項10または11に記載の光学部材に対して、研磨工程、研磨工程、および反射防止膜または反射膜のコーティングを施すことで所定の形状に製造された光学素子が少なくとも1個以上鏡筒に組込まれたことを特徴とする光リソグラフィー用光学系。

【請求項15】 請求項14に記載の光リソグラフィー用光学系は、投影光学系であることを特徴とする光リソグラフィー用光学系。

【請求項16】 波長250nm以下の特定波長帯域で使用される光リソグラフィー用露光装置であって、請求項14または15に記載の光学系を組込んだことを特徴とする光リソグラフィー用露光装置の製造方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、カメラ、顕微鏡、望遠鏡などの光学機器やステッパーなどの光リソグラフ

ィー用投影露光装置の光学系を構成する光学素子を製造するための素材である、フッ化物結晶からなる光学部材とその評価方法、および、その光学部材から製造した光学素子を組込んだ光学系ないしは光リソグラフィー用投影露光装置に関するものである。

【0002】

【従来の技術】近年、ウエハ上に集積回路パターンを描画するリソグラフィー技術が急速に発展している。集積回路の高集積化の要求は年々高まっており、その実現のためには投影露光装置の投影光学系の解像力を上げる必要がある。投影光学系の解像力は、使用する光の波長と投影光学系のNA（開口数）により決定される。即ち、使用する光の波長をより短く（短波長化）、また、投影光学系のNAがより大きい（大口径化）ほど解像力を上げることができる。

【0003】まず、光の短波長化について述べる。投影露光装置に使用する光源の波長は、すでにg線（波長436nm）、i線（波長365nm）と変遷してきている。そして今後、更に波長の短いKrFエキシマレーザー光（波長248nm）、ArFエキシマレーザー光（波長193nm）等を用いるには、投影光学系等の結像光学系のレンズ材料として、一般の多成分系の光学ガラスを使用することは、透過率低下が大きくなるため不可能である。

【0004】このため、エキシマレーザー投影露光装置の光学系には、石英ガラスまたはフッ化物結晶、例えばフッ化カルシウム結晶を光学部材として使用することが一般的である。次に大口径化について述べる。エキシマレーザー投影露光装置の光学系に用いるための光学部材として、必要な結像性能を満たすためには、結晶材料の場合には単結晶であることが望ましいとされている。

【0005】また、投影露光装置の高性能化に伴って、最近では口径φ120mm〜φ350mm程度の大口径のフッ化カルシウム単結晶が要求されるようになってきた。このようなフッ化カルシウム単結晶は、一般の光学ガラスや石英ガラスに比べて屈折率が小さく分散（屈折率の波長依存性）も小さい。そのため、石英ガラス等の材料からなる光学部材と併用することで色収差を補正できるというメリットもある。また、直径φ120mmを超えるような大口径の単結晶の入手も可能である。

【0006】これらの利点を有するフッ化カルシウム単結晶は、投影露光装置用光学材料の他に、カメラ、顕微鏡及び望遠鏡のレンズ材料としても従来から用いられている。また最近では、フッ化カルシウム単結晶以外のフッ化物単結晶であるフッ化バリウムやフッ化ストロンチウムの単結晶も同じ立方晶系に属し、性質が類似しているという点で、次世代の光学材料として注目されている。

【0007】フッ化物単結晶の製造方法としては、ブリッジマン法（ストックバーガー法または引き下げ法ともいう）やタンマン法といった融液法など多くの単結晶育

成方法が知られている。以下、ブリッジマン法によるフッ化カルシウム単結晶の製造方法の一例を示す。図2は、ブリッジマン法によるフッ化カルシウム単結晶の育成装置の概念図である。

【0008】紫外ないし真空紫外域で使用するためのフッ化カルシウム単結晶を製造するには、その原料として化学的に合成して製造された高純度なフッ化カルシウム原料を使用することが一般的である。結晶を育成するための原料として粉末状態のものをを用いると、熔融したときの体積減少が大きいので、これを避けるために、半熔融品やその粉砕品の形にしたものを用いて結晶を育成するのが一般的である。

【0009】まず、育成装置の中に半熔融品、あるいは、その粉砕品を充填したルツボをセットして、育成装置内を 10^{-3} 〜 10^{-4} Paの真空雰囲気維持する。次に、育成装置内の温度をフッ化カルシウムの融点以上（1370℃〜1450℃）まで上げて原料を熔融する。

【0010】結晶育成（結晶成長）段階では、0.1〜5mm/h程度の速度でルツボを引き下げることにより、ルツボの下部から徐々に結晶育成を進行させる。融液の最上部まで結晶化したところで結晶育成は終了する。育成された結晶（インゴット）は割れないように室温近傍まで徐冷し、その後、育成装置内を大気開放してインゴットを取り出す。

【0011】この結晶育成には黒鉛製のルツボを使用するのが一般的である。ルツボは先端部が円錐形状のペンシル型となっている。従って、ルツボ下端の円錐形状の先端から結晶成長が開始して徐々に結晶化が進み最終的にインゴットが得られることになる。

【0012】インゴットの結晶面方位を制御する目的で先端部分に種結晶を入れることもある。しかし、一般的には、ブリッジマン法によって大きなフッ化物結晶を製造する場合には、その結晶成長方位には法則性がなく、結晶成長を行なう毎にインゴットの結晶方向はランダムに決まると考えられている。特に、直径がφ120mmを超えるような大きなインゴットでは結晶面方位の制御は極めて難しい。

【0013】結晶成長後、ルツボから取り出したインゴットには大きな残留応力が存在するため、インゴット形状のままに簡単な熱処理が行われる。このようにして得られたフッ化カルシウム単結晶のインゴットは、目的の製品に応じて適当な大きさに切断加工される。

【0014】結晶面方位が問題とされない光学素子を製造する場合には、より効率よく素材をインゴットから切り出すために、インゴットは水平に平行平板状に切断（輪切り）される。切断された素材は、所望の結像性能（屈折率の均質性と複屈折）を得るために熱処理が施される。

【0015】結晶面方位を考慮しなければならない光学素子を製造する場合、例えば、光軸を{111}結晶面

10

20

30

40

50

に垂直とする場合には、フッ化物単結晶インゴットの{111}結晶面を測定し、{111}面が平行二平面となるように素材を切り出した後、熱処理が行われる。

【0016】ところで、これまで立方晶系の単結晶は、物質固有の複屈折を持たないか、あるいは、持つとしても問題ないレベルであると考えられていた。従って、例えばフッ化カルシウムの単結晶では、その製造工程における熱応力によって発生する複屈折を問題ないレベルまで低減すれば、複屈折が光学設計にとって大きな問題となることはないと考えられていた。

【0017】しかし最近になって、物質固有の複屈折には波長依存性があり、使用する光の波長が250nm程度より長い場合には物質固有の複屈折は小さく殆ど無視できるのに対し、波長が短くなるに従って物質固有の複屈折は大きくなることがわかってきた。例えば{110}面では波長が633nm、193nm、及び157nmの光に対して、複屈折の値は、それぞれ0.2nm/cm以下、3.4nm/cm、及び11.2nm/cmとなることがわかった。波長157nmはF2レーザー光の波長であり、このような短波長の光に対しては、光学系の結像性能に与える物質固有の複屈折の影響を無視できないことがわかってきた。

【0018】光学素子内部で物質固有の複屈折がどのように分布するかは、その光学素子と結晶の向きの関係に依存する。従って、単結晶を光学部材に加工する際に、単結晶の結晶面方位と光軸の向きの関係が変われば、その分布も変化する。このことについて簡単に説明する。図3は、立方晶系のフッ化物結晶の結晶面方位を示した模式図である。図3に示したように、[100]軸および[111]軸の方向には複屈折は存在しないのに対して、[110]軸の方向には複屈折は最大となる。なお、上記結晶面方位の表記はミラー指数によっている。ミラー指数とは、結晶面が各結晶軸と交点する点から結晶の格子原点までの距離を各結晶軸の格子間距離で除算した値の逆数である。例えば、フッ化カルシウムのように立方晶系の場合、各結晶軸の格子間距離は全て同じなので、これをaとすると、ある結晶面が格子原点からそれぞれa/h、a/k、a/l離れた点で結晶軸と交わっている場合、その結晶面方位はミラー指数で(hkl)と表す。ここで、h、k、およびlは整数である。ミラー指数によれば、立方晶系においては、方向[hkl]は、結晶面(hkl)に垂直である。また、対称関係にある方向はひとつの指数で代表させて<>で括弧で示す。対称関係にある結晶面もひとつの指数で代表させて{}で括弧で示す。例えば、立方体の対角線[111]、[1-11]、[-1-11]、[-111]は全て<111>によって代表され、また、立方体の結晶面(100)、(010)、(-100)、(0-10)、(001)、(00-1)は{100}によって代表される。

【0019】従って、例えば<111>軸を光軸と一致

させた光学系では、図4に示したように、複屈折の分布のピーク(複屈折対称軸)は3方向に存在する。また、<100>軸を光軸とした場合には、図5に示したように、複屈折対称軸は4方向に存在する。更に、<110>軸を光軸とした場合にも、図6に示したように、複屈折対称軸は4方向に存在する。

【0020】上記説明の通り、光学素子内部の物質固有の複屈折は、その結晶方位に応じた分布をすることがわかった。そこで、複数の光学素子を、光軸を中心に互いに所定の角度を持つように回転させて組み合わせることで、複屈折分布のピークを互いに打ち消す方法が提案された。これをクロッキングと呼ぶ。

【0021】例えば、図7は、<111>軸を光軸とした光学系において、2枚の光学部材を光軸を中心に<110>軸を互いに60°回転させて配置させた状態を示している。また、図8は、<100>軸を光軸とした光学系において、2枚の光学部材を光軸を中心に<110>軸を互いに45°回転させて配置させた状態を示している。更に、図9は、<110>軸を光軸とした光学系において、4枚の光学部材を光軸を中心に、<111>軸と<100>軸が各々45°、90°、135°回転させて配置させた状態を示している。

【0022】このように複数の光学部材を互いに所定の角度をなすようにセットする(クロッキングを行なう)ことにより、各々の光学素子の複屈折分布による結像性能への影響を互いに打ち消すことが可能となるので、これにより点像強度分布(Strehl Intensity)が改善され、結像性能の低下を防ぐことができる。

【0023】

【発明が解決しようとする課題】しかし、クロッキングを行なっても、結像性能が依然として改善されない場合がある。本発明者がその原因について研究した結果、フッ化物単結晶から加工したレンズ等の光学素子に、双晶と呼ばれる領域が存在することによるものであることがわかった。

【0024】双晶とは、周辺の領域の結晶面方位とは対称な関係の結晶面方位を有する結晶領域が内在している場合、その結晶領域のことをいう。例えば、双晶の領域とそうでない領域では、どちらの領域においても<111>軸は同一方向であるが、<100>軸は互いに180°反転した結晶面方位を有する関係となる。

【0025】双晶が内在する光学素子では、双晶の部分とそれ以外の部分で複屈折の分布が異なるため、クロッキングを行なっても複屈折分布の極性を低減するという効果が得られない。本発明は、かかる問題に鑑みてなされたものであり、結像性能が良好なフッ化物結晶からなる光学素子を提供することを目的とする。

【0026】

【課題を解決するための手段】本発明は、フッ化物結晶からなる光リソグラフィー用光学部材の結晶面方位を測

定することで双晶の領域を特定し、その光学部材の有効領域に対する双晶の領域の割合を算出することを特徴とする。

【0027】従って、本発明は第1に、フッ化物結晶からなる光リソグラフィー用光学部材の評価方法において、光学部材の結晶面方位を測定する工程と、測定の結果に基づいて双晶の領域を特定する工程を有する光学部材の評価方法を提供する。また、本発明は第2に、請求項1に記載の光学部材の評価方法において、光学部材から製造する光学素子の有効領域に対して、特定した双晶の領域が占める割合を算出する工程を有する光学部材の評価方法を提供する。

【0028】また、本発明は第3に、請求項1および2に記載の光学部材の評価方法において、光学部材の結晶面方位を測定する工程は、X線を光学部材に照射することにより行なう光学部材の評価方法を提供する。また、本発明は第4に、請求項3に記載の光学部材の評価方法において、X線を光学部材に照射することにより行なう工程は、ラウエ法である光学部材の評価方法を提供する。

【0029】また、本発明は第5に、請求項4に記載の光学部材の評価方法において、ラウエ法は側面反射型である光学部材の評価方法を提供する。また、本発明は第6に、請求項1ないし5に記載の光学部材の評価方法において、双晶の領域は、光学部材から製造する光学素子の有効領域内における双晶の領域の光軸方向へ投影した領域の面積の和であり、光学素子の有効領域は、光学素子の有効径面積である光学部材の評価方法を提供する。

【0030】また、本発明は第7に、請求項1ないし5に記載の光学部材の評価方法において、双晶の領域は、光学部材から製造する光学素子の有効領域内における双晶の領域の光軸方向へ投影した領域の面積の和であり、光学素子の有効領域は、光学素子のパーシャル径面積である光学部材の評価方法を提供する。

【0031】また、本発明は第8に、請求項6に記載の光学部材の評価方法において、光学素子の有効領域内における双晶の領域の光軸方向へ投影した領域の面積の和が、光学素子の有効径面積に占める割合が、10%以下の場合に使用可能と判断する工程である光学部材の評価方法を提供する。

【0032】また、本発明は第9に、請求項7に記載の光学部材の評価方法において、光学素子の有効領域内における双晶の領域の光軸方向へ投影した領域の面積の和が、光学素子のパーシャル径面積に占める割合が、10%以下の場合に使用可能と判断する工程である光学部材の評価方法を提供する。

【0033】また、本発明は第10に、波長250nm以下の波長帯域で使用される光リソグラフィー用光学部材であって、光学部材から製造する光学素子の双晶の領域の光軸方向へ投影した領域の面積の和が、光学素子の有効径面積に占める割合が、10%以下である光学部材を提供

する。

【0034】また、本発明は第11に、波長250nm以下の波長帯域で使用される光リソグラフィー用光学部材であって、光学部材から製造する光学素子の双晶の領域の光軸方向へ投影した領域の面積の和が、光学素子のパーシャル径面積に占める割合が、10%以下である特徴とする光学部材を提供する。

【0035】また、本発明は第12に、波長250nm以下の特定波長帯域で使用される光リソグラフィー用光学系の製造方法であって、請求項10または11に記載の光学部材に対して、研削工程、研磨工程、および反射防止膜または反射膜のコーティングを施すことで所定の形状の光学素子を製造し、光学素子を鏡筒に組込むことで光学系を構成する光リソグラフィー用光学系の製造方法を提供する。

【0036】また、本発明は第13に、波長250nm以下の特定波長帯域で使用される光リソグラフィー用露光装置の製造方法であって、請求項10または11に記載の光学部材に対して、研削工程、研磨工程、および反射防止膜または反射膜のコーティングを施すことで所定の形状の光学要素を製造し、光学要素を鏡筒に組込むことで光学系を構成し、光学系を所定の位置に取り付ける光リソグラフィー用露光装置の製造方法を提供する。

【0037】また、本発明は第14に、波長250nm以下の特定波長帯域で使用される光リソグラフィー用光学系であって、請求項10または11に記載の光学部材に対して、研削工程、研磨工程、および反射防止膜または反射膜のコーティングを施すことで所定の形状に製造された光学素子が少なくとも1個以上鏡筒に組込まれた光リソグラフィー用光学系を提供する。

【0038】また、本発明は第15に、請求項14に記載の光リソグラフィー用光学系は、投影光学系である光リソグラフィー用光学系を提供する。また、本発明は第16に、波長250nm以下の特定波長帯域で使用される光リソグラフィー用露光装置であって、請求項14または15に記載の光学系を組込んだ光リソグラフィー用露光装置の製造方法を提供する。

【0039】

【発明の実施の形態】本発明においては、結晶育成工程は、従来のフッ化物結晶の製造方法と同様の方法を用いる。以下、ブリッジマン法（ストックバーガー法または引き下げ法）によるフッ化カルシウム単結晶の育成方法について説明する。図10は、フッ化カルシウム単結晶の育成過程を示した概念図である。

【0040】原料は化学合成により製造された高純度粉末を使用する。まず、以下の手順により粉末原料から半熔融品を得る。熔融装置の中に高純度粉末原料を充填した黒鉛製のルツボを積み重ねて配置する。粉末原料には粉末状のフッ素化剤を予め添加してある。フッ素化剤としてはフッ化鉛を用いるが、四フッ化エチレン樹脂等の

フッ素系高分子材料を用いると、より純度の高い半熔融品が得られ、それにより、最終的により双晶の発生が少ない結晶が得られることが期待できる。

【0041】次に、熔融装置内を $10^{-3} \sim 10^{-4}$ Paの真空雰囲気とし、その状態を維持しながら熔融装置内の温度を原料の融点以上（1370℃～1450℃）まで昇温させて粉末原料を熔融した後、室温まで降温する。この際、熔融装置内の温度制御はPID制御により正確に行なうことが望ましい。次に、黒鉛製ルツボから半熔融品を取り出す。

【0042】このようにして得られた半熔融品を、先端部が円錐形状をした直径φ300mmのベンシル型の結晶育成用の黒鉛製ルツボに入れて結晶育成炉にセットする。次に、結晶育成炉内を原料の融点以上まで昇温させ、半熔融品を熔融させる。次に、0.1～5mm/h程度の速度でルツボを引き下げる。結晶育成炉内の下部は融点以下の結晶化が起こる温度に制御されているので、ルツボを引き下げるのに応じて、結晶化する温度領域にゆっくりと移動することになる。これにより、ルツボの下部から徐々に結晶化が進行し、融液の最上部まで結晶化が進んだところで結晶育成が完了する。

【0043】次に、育成した結晶（インゴット）が割れないように結晶育成炉内を徐冷し、室温近傍まで下がった時点で結晶育成炉内を大気開放してインゴットを取り出す。次に、インゴット先端の円錐形状部分（コーン部と称する）と、その反対側の端面部分（トップ部と称する）を所定の厚さに切断して、結晶面方位測定用のテストピースとする。これらのテストピースの結晶面方位測定をラウエ法にて行ない、インゴットの結晶面方位を特定する。

【0044】結晶面方位の評価方法には、X線による方法、機械的方法、光学的方法等がある。これらの中でX線による方法は、短時間で高精度に、しかも非破壊で測定することができる。X線による方法の中でも、特にラウエ法は本発明に適している。

【0045】結晶面方位が特定されたインゴットは、所望の結晶面方位の光学素子を加工するのに適した方向に、平行平板状の形に切断加工される。次に、切断された平行平板状の材料に対して双晶の評価を行なう。双晶の評価は、X線による結晶面方位の特定と基本的に同じ原理で、材料の表面の結晶面方位をより詳細に評価することで行う。X線を用いた方法には、ラウエ法、回転法、振動法、ワイセンベルグ法、プリセッション法等があるが、ここでもラウエ法は本発明に適している。

【0046】既に説明した通り、双晶は、周辺の結晶面方位とは対称な関係の結晶面方位を有する結晶の領域である。例えば、双晶の領域はその周辺の領域と比べて、 $\langle 111 \rangle$ 軸は同一方向であるのに対して、 $\langle 100 \rangle$ 軸は180°反転している。従って、X線により結晶面方位を詳細に評価することで、上記の関係になっている領

域を特定することができ、また、双晶の領域が光学素子の有効部分に対してどの程度の比率になるかを知ることができる。

【0047】本発明者の研究によれば、双晶の領域が、製造すべき光学素子の有効部分に対して10%以下、より好ましくは5%以下であれば、光学系の結像性能を大きく損なわないことがわかった。X線による双晶の評価方法についてX線回折法を例にあげてより詳しく説明する。X線回折法は、X線管から出たX線を試料に照射して反射させ、一定の反射角度においてその反射X線をゴニオメータでカウントする方法である。X線管はMo、Cu、W等のターゲットを用いたものが多い。X線は物質を構成する原子が持っている電子により散乱される。物質は多数の原子により成り立っているため、物質が結晶構造を有する場合には、このX線散乱現象は特異的なパターンとなる。即ち、結晶に対してある特定の入射角度の場合に限って強い散乱が観測される。これをブラッグの反射といい、結晶の面間隔をd、入射角および反射角を θ 、X線の波長を λ とすると、 $\lambda = 2d \times \sin \theta$ という関係が成り立つ。これをブラッグ条件という。この現象により、物質の原子配列構造を知ることができる。

【0048】ラウエ法はX線回折法の一様で、固定された結晶に白色X線が照射されるようにしたもので、各結晶面は、それぞれの面間隔dと入射角ないし反射角 θ に対してブラッグ条件を満たすような波長 λ のX線のみを選択的に回折する。結晶面から回折されたX線をラウエカメラにより撮影し、得られた写真画像パターン（ラウエ斑点）により試料物質の原子構造を解析する。写真画像の解析は、手計算により行なうか、あるいは、写真画像をスキャナでコンピュータに取り込み計算させることにより行なう。

【0049】ラウエ法には、X線源、結晶（被測定物）、ラウエカメラの相対的位置関係の違いにより、透過型、背面反射型、側面反射型の3タイプがある。透過型では、X線の進行方向への回折ビームを記録するために、ラウエカメラは結晶の後方に配置される。背面反射型ではラウエカメラは結晶とX線源の間に配置され、入射ビームはフィルムにあげた穴を通り結晶に達し、X線源側への回折ビームがフィルムに記録される。側面反射型では結晶に対してある入射角 ω で入射するようにX線源を配置し、ラウエカメラは任意の側面方向の回折ビームを記録するために入射ビームに対して所定の角度に配置される。いずれのタイプでもラウエ斑点の位置は入射ビームに対する結晶の相対的關係によって決まるので、このことを応用して結晶面方位の決定に用いられる。図11に側面反射型のラウエ装置を示す。

【0050】ラウエ法は様々な結晶面方位を簡便に測定することができ、信頼性が高く測定に要する時間も短くて済むので本発明に適しており、中でも側面反射型では、試料面に60°の入射角でX線を入射させるのでX線

の浸透が浅い分、ダメージが小さいというメリットがあり、本発明には好適であると言える。

【0051】本発明では $\phi 300\text{mm} \times t 60\text{mm}$ のような大きな結晶を扱うので、以下に説明する方法を用いると都合がよい。まず、被測定物をステージに平置きし、その下にX線源とラウエカメラを設置する。被測定物をステージに平置きすることで、大きな試料の表面を詳細に評価し易くなる。なお、結晶面方位の測定は、結晶軸方位の測定と同義である。即ち、 $\{111\}$ 面方位を測定することは $\langle 111 \rangle$ 軸方位を測定することと等価である。

【0052】双晶の評価により光学素子として使用可能と判断された被測定物は、複屈折量を小さくするために熱処理が施された後、研削、研磨、反射防止膜のコーティング等の加工が施され最終的にレンズやプリズム等の光学素子となる。そして、様々な形状のレンズやプリズム、反射鏡等の光学素子を適当に組合せて鏡筒に組込むことで光学系が構成される。このように構成された光学系は露光装置本体に組み込まれ、光リソグラフィー用露光装置となる。

【0053】図12にF2レーザーを光源とする光リソグラフィー用露光装置の概念図を示す。図12において、100はF2レーザー光源（発振中心波長 157.6nm ）、ILは照明光学系、PLは投影光学系、Rはレチクル、Wは縮小投影されるシリコンウェハである。光源100から出射された光は、照明光学系ILを介して、所定のパターンが形成されたレチクルRを均一な照度で照明する。

【0054】光源100と照明光学系ILの間の光路はケーシング（不図示）で密封されており、光源100から照明光学系ILの最もレチクルに近い側のレンズまでの空間は、露光光の吸収率が低い不活性ガスが充填されている。レチクルRは、レチクルホルダRHを介してレチクルステージRS上においてXY平面に対して平行となるように保持されている。レチクルRにはウェハW上に転写するためのパターンが形成されている。パターン領域全体のうち、X方向に沿って短辺を有し、かつ、Y方向に沿って長辺を有する矩形形状（スリット状）領域が照明される。

【0055】レチクルステージRSは、レチクル面（すなわちXY平面）に沿って二次元的に移動可能であり、その位置座標はレチクル移動鏡RMを用いたレチクル干渉計RIFによって計測され位置制御される。レチクルRに形成されたパターンを通過した光は、投影光学系PLを介して感光性基板であるウェハW上にレチクルパターン像を形成する。ウェハWは、ウェハテーブルWTを介してウェハステージWS上においてXY平面に対して平行となるように保持される。ウェハステージWSは、ウェハW上においてX方向に沿って短辺を有し、かつ、Y方向に沿って長辺を有する矩形形状の露光領域が、レチクルR上における矩形形状の照明領域に光学的に対応する

ように、XY平面に沿って二次元的に移動可能である。ウェハテーブルWTの位置座標はウェハ移動鏡WMを用いてウェハ干渉計WIFにより計測され位置制御される。

【0056】投影光学系PLの内部は機密状態を保つように構成され、その内部の空間には不活性ガスが充填されている。また、照明光学系ILと投影光学系PLの間の狭い光路には、レチクルR及びレチクルステージRSなどが配置されている。レチクルR及びレチクルステージRSなどを密封包囲するケーシング（不図示）の内部には不活性ガスが充填されている。

【0057】このように、光源100からウェハWまでの光路全体にわたって、露光光が殆ど吸収されることのない雰囲気形成されている。上述した通り、投影光学系PLを介して照明されるレチクルR上の照明領域及びウェハW上の露光領域は、X方向に沿って短辺を有する矩形形状である。従って、駆動系及び干渉計（RIF、WIF）等を用いてレチクルR及びウェハWの位置制御を行ないながら、矩形形状の照明領域及び露光領域の短辺方向、即ちX方向に沿ってレチクルステージRSとウェハステージWSとを同期して移動（走査）させることで、ウェハW上には露光領域の長辺に等しい幅を有し、かつ、ウェハWの移動（走査）量に応じた長さを有する領域に対してレチクルパターンが走査露光される。

【0058】このような構成により、微細かつ鮮明なパターンを得られる光リソグラフィーが実現できる。本発明によれば、線幅 $0.3\mu\text{m}$ 以下のパターンを得ることが可能である。次に、本発明に係るF2レーザーを光源とする光リソグラフィー用露光装置に用いる投影光学系について図13を用いて詳しく説明する。図13はその投影光学系の一例を示す概念図である。図13に示した投影光学系は、第一結像光学系G1、光路折り曲げ鏡FM、第二結像光学系G2、および第三結像光学系G3で成り立っている。光路折り曲げ鏡FMは第一光路折り曲げ鏡1と第二光路折り曲げ鏡2からなっている。第一結像光学系G1は投影基板としてのレチクルR上に形成されたパターンの第一の中間像を形成する。第一光路折り曲げ鏡1は第一の中間像の近傍に配置され、第一結像光学系G1の光軸AX1を第二結像光学系G2の光軸AX2の方向に折り曲げる。第二結像光学系G2は凹面鏡CMと少なくとも1個の凹レンズを含み、第二の中間像を形成する。第二光路折り曲げ鏡2は第二の中間像の近傍に配置され、第二結像光学系G2の光軸AX2を第三結像光学系G3の光軸AX3の方向に折り曲げる。第三結像光学系G3はレチクルR上に形成されたパターンの縮小像をウェハ上に結像する。また、第三結像光学系G3は、コヒーレンスファクターを制御するための可変開口絞りASも有している。

【0059】図13では、それぞれ複数のレンズを有する第一結像光学系G1、第二結像光学系G2、および第

10

20

30

40

50

三結像光学系G3を備える投影光学系を示したが、各結像光学系のレンズ枚数は図13に示された枚数に限られるものではない。また、光軸AX1と光軸AX2、及び光軸AX2と光軸AX3のなす角度は必ずしも90°でなくてもよい。ただし、レチクルRとウェハWは平行であることが望ましい。

【0060】このような投影光学系においては、既に説明した通り、光学系を構成しているレンズ等の光学素子に双晶がある場合には、ウェハ面上における結像性能に悪影響を与える。しかし、結像性能に与える影響の度合いは、どのレンズも同じという訳ではない。図13で、レチクルR上の一点から射出してウェハ上の一点に集光する各レンズ面上での光束の径（バーシャル径という）に着目すると、第一結像光学系G1では、レチクルRに近い側のレンズの光束径（バーシャル径）は、レチクルRから遠いレンズの光束径に比べて小さいことがわかる。また、第三結像光学系G3では、第二光路折り曲げ鏡2やウェハWに近い側のレンズの光束径は、両者の中間付近にあるレンズの光束径に比べて小さいことがわかる。同じ大きさの欠陥であってもバーシャル径が小さいほど影響は大きい。レンズの欠陥がウェハ上への結像性能に与える影響の度合いはレンズによって一様ではなく、バーシャル径が小さいほどレンズに存在する欠陥の影響は大きい。即ち、双晶もバーシャル径が小さいレンズほど影響が大きいのである。従って、双晶の領域の大きさをバーシャル径に関連させて規定することでより合理的な評価が可能となる。

【0061】本発明者の研究によれば、光学素子の双晶の領域が、そのバーシャル径の10%以下とすれば結像性能を大きく損なうことがなく、また、バーシャル径の5%以下であれば更に良好な結像性能が得られる。なお、上記説明では、双晶の評価を光学素子としての加工を施す前の光学部材に対して行なったが、加工を施して光学素子としてから双晶の評価を行なっても構わない。

【0062】以下、実施例により具体的な評価の例を示す。

【0063】

【実施例】ブリッジマン法により製造したフッ化カルシウム単結晶インゴットのコーン部とトップ部からそれぞれ30mm以上の厚さの結晶面方位測定用テストピースを切断する（図14）。ラウエ法によりテストピースの結晶面方位測定を行ないインゴットの結晶面方位を特定する。インゴットが完全な単結晶であれば、コーン部またはトップ部のどちらか一方の1カ所の結晶面方位のみ測定すれば、インゴット全体の結晶面方位を特定できる。しかし、完全な単結晶でない場合もあるので、コーン部とトップ部でそれぞれ数点ずつ結晶面方位を測定し、それらの測定結果が相互に矛盾がないことを確認することが望ましい。

【0064】コーン部とトップ部を切断した残りのイン

ゴット本体は、側面部の表面部分を切除（丸め加工）した後、その部分を砂かけ仕上げ相当面に加工する。次に、側面部の一部を平面研削して、幅数センチメートルの平面部分を形成する。その部分にフッ化カルシウムとはほぼ同じ屈折率を有するマッティングオイルを塗布して見かけの表面粗さを小さくし、インゴット内部を観察しやすいようにする。その状態で暗室内でインゴットに光を照射し、インゴットを透過してくる光をクロスニコル光学系により観察し、界面での応力集中などを調べる。また、平面部分を観察することでサブグレインバウンダリー、ポリクリスタルの状態、その界面の位置等を確認する。また、内部の泡や異物の状況も確認する。

【0065】次に、インゴットから{111}面が平行二平面となるような平行平板状に材料を切り出す。切り出された材料の表面をラウエ法により詳細に評価し、双晶の領域を特定し、その材料から製造すべき光学素子の有効領域、あるいは、バーシャル径に対する双晶の割合を求める。双晶の割合が10%以下のものは次の工程に回し、それ以上のものは使用しない。

【0066】ここで、側面反射型のラウエ法による自動測定装置について説明する。自動測定装置は、X線源と試料ステージおよびCCDカメラから構成されている。試料はステージに平置きし、その下側にX線源とCCDカメラが設置された構成となっている。このような構成により、大きな試料でも詳細に評価し易いようになっている。X線管はWターゲットを装備しており、管電圧50kV、管電流40mAで駆動し、最大出力は2kWである。X線管で発生したX線は直径約1mmのダブルピンホールコリメータによって平行ビームとなり、ビーム径φ2mm程度に絞られた状態で試料に入射する。X線照射時間は約1分である。回折ビームは蛍光板に投影され、これをCCDカメラにより撮像し、その画像をラウエパターンとしてコンピュータに取り込む。CCDはベルチェ素子により約-50°Cに冷却されS/N比が保たれるようになっている。コンピュータに取り込まれたラウエパターン画像は方位解析画面で解析する。ラウエパターンは複数の点列によって構成され、一つの点列は同じ晶帯軸からの回折斑点を表している。複数の晶帯軸に属する斑点（点列の交点）から4点をマウスで選択指定すると各交点毎に自動的にミラー指数付けが行われ、4点の指数が一致するとシミュレーションパターンとラウエパターンが重ねて表示されるようになっている。シミュレーションパターンとラウエパターンが一致しているかどうかは測定者が判断する。ミラー指数が決定されると方位解析結果が出力される。面方位角度は、試料ステージの奥側をX軸方向、試料ステージの鉛直下向き方向をZ軸方向とした座標系において、Z軸と各方位軸のなす角度を α 、また、各方位軸を測定面に投影した線のX軸の+方向から反時計回りになす角度を β として表す。

【0067】図15は平行平板状の部材における<11

1>軸に関する α と β の概念を示す説明図である。この場合、平行平板状部材が正確に{111}面が平行二平面となっていれば、<111>軸は測定面に垂直になるので、 $\alpha=0$ となり、 β も存在しないことになる。しかし、実際には、切断面が{111}面に全く一致することは希で、<111>軸はZ軸に対して僅かの傾きがあるので、 α と β の数値が表示されるのが普通である。

【0068】平行平板状に切り出された光学部材に対して、上記方法で表面を2mm間隔で測定し、各測定点における<111>軸および<100>軸に関して α および β を測定し、それぞれの軸の β の方向を矢印で示してマッピングした一例を図16に示す。図16から、測定面全面にわたって<111>軸は同じ方向であるのに対して、右下の斜線部分では<100>軸の方向がそれ以外の領域に対して180°反転しているのがわかる。即ち、斜線部分は双晶であることが特定できる。なお、破線で囲んだ2つの円形領域のうち、大きい方の円形領域は、この光学部材から製造するレンズの有効径領域を示しており、小さい方の円形領域は、そのレンズにおいて双晶領域を最も大きく包含するパーシャル径の領域を示している。この例では、双晶領域はレンズの有効径領域に対しては10%に達していないが、パーシャル径に対しては10%を超えていると判断できる。即ち、双晶領域の面積が特定でき、光学素子の有効領域やパーシャル径領域に対して占める割合を求めることができる。

【0069】なお、本実施例では、{111}面が平行二平面となるような平行平板状に材料を切り出しているが、他の結晶面が平行二平面となるように切り出す場合も、同様の方法で行なうことができることは言うまでもない。双晶を評価して光学素子として使用可能と判断した平行平板状材料に熱処理を行なう。熱処理の目的は、複屈折を低減して光学素子の結像性能を上げることにある。具体的には、平行平板状材料を熱処理装置の容器内に平面部が上下となるように設置して、ヒーターにより1080°C程度に加熱して熱処理を施す。その際、フッ化カルシウムの濁りの原因となる酸素を排除する目的で、熱処理装置内は真空状態とする。

【0070】熱処理装置本体はステンレス製で、内部に黒鉛製ヒーターと黒鉛製容器が設けられている。熱処理を行なう際には材料と一緒に酸性フッ化アンモニウム約100gを入れる。この目的は、内部の酸素を完全に排除すると同時に、熱処理装置内面のステンレス部分をフッ化物で被覆してしまうことにある。真空ポンプを用いて装置内部を真空状態にした後、昇温を開始する。装置内温度が500°Cを越える前後から、酸性フッ化アンモニウムの気化が始まり、装置内部圧力はわずかに正圧に変わり、大気圧に対して2~8kPa高い状態となる。この状態を保つように、圧力を制御しながら1080°Cまで昇温してその温度を所定時間保持した後、徐冷を行う。

【0071】以上のような熱処理を行うことにより、フ

ッ化カルシウム材料の全結晶面方位における、熱応力に起因する複屈折量を最小限にすることができる。熱処理を行なったフッ化カルシウム材料には、所定の研削、研磨、反射防止膜のコーティング等の加工が施されて光学素子となる。光学素子は適当に組み合わせられて光学系が構成され、投影露光装置に組み込まれる。即ち、{111}、{100}、{110}結晶面が平行二平面となるように加工した各光学部材の面方位の光学設計値と合致している(3°以内)ことを確認した後、<111>軸を光軸と一致させたレンズは<110>軸を60°回転させたもう1枚のレンズで複屈折を相殺し、<100>軸を光軸と一致させたレンズは<110>軸を45°回転させたもう1枚のレンズで複屈折を相殺する。更に、<110>軸を光軸と一致させたレンズは<111>軸及び<100>軸を45°、90°、135°回転させた3枚のレンズで複屈折を相殺する。このように光学系を構成することにより、投影レンズとしての結像性能が得られる。複屈折分布によるストレーラ値を測定したところ、0.99であり、投影光学系としての性能を得ることができた。

【0072】なお、更に残留する複屈折の影響は、複屈折の分布をコントロールし、フッ化カルシウムの複屈折を打ち消すように製造した石英ガラス、フッ化カルシウム、フッ化バリウムなどの結晶の複屈折分布を測定し、光学系内に挿入することで補正し、結像性能をさらに向上させることも可能である。この場合、結晶材料では結晶面方位の管理を行う必要があることは言うまでもない。

【0073】以上、本発明のように光学部材の双晶を管理することは、光学系の性能を確保するためには極めて重要であり、レンズ1枚1枚の双晶の領域をより精密に管理することにより、光学系の結像性能を最大限に引き出すことが可能となる。

【0074】

【比較例1】双晶の領域が各光学部材の有効径、あるいは、パーシャル径の10%を超えているレンズを1枚用いて、実施例1と同様の光学系を構成した。複屈折分布によるストレーラ値を測定したところ、0.91となり、投影光学系としての性能を得ることはできなかった。

【0075】

【比較例2】双晶の領域が各光学部材の有効径、あるいは、パーシャル径の10%を超えているレンズを5枚用いて、実施例1と同様の光学系を構成した。複屈折分布によるストレーラ値を測定したところ、0.82となり、投影光学系としての性能を得ることはできなかった。

【0076】

【発明の効果】以上説明した通り、本発明によれば、双晶の管理された光学部材を提供することができ、所望の結像性能を確保することが可能となる。

【図面の簡単な説明】

【図 1】 本発明の光学部材の評価方法を示すフローチャートである。

【図 2】 ブリッジマン法によるフッ化物結晶の育成装置の概念図である。

【図 3】 立方晶系のフッ化物単結晶の結晶面方位を示した模式図である。

【図 4】 $[111]$ を光軸としたフッ化物結晶光学部材の概念図である。

【図 5】 $[100]$ を光軸としたフッ化物結晶光学部材の概念図である。

【図 6】 $[110]$ を光軸としたフッ化物結晶光学部材の概念図である。

【図 7】 $[111]$ を光軸としたフッ化物結晶光学部材の組み合わせを示す概念図である。

【図 8】 $[100]$ を光軸としたフッ化物結晶光学部材の組み合わせを示す概念図である。

【図 9】 $[110]$ を光軸としたフッ化物結晶光学部材の組み合わせを示す概念図である。

* 材の組み合わせを示す概念図である。

【図 10】 フッ化物結晶の製造工程を示す概念図である。

【図 11】 ラウエ法（側面反射法）による結晶面方位測定装置を示す概念図である。

【図 12】 本発明に係る F2 レーザーを光源とするリソグラフィー用露光装置を示す概念図である。

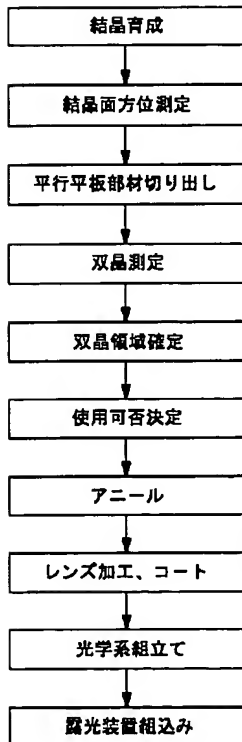
【図 13】 本発明に係る F2 レーザーを光源とするリソグラフィー用露光装置の投影光学系を示す概念図である。

【図 14】 フッ化物結晶インゴットから光学部材を加工する工程を示す概念図である。

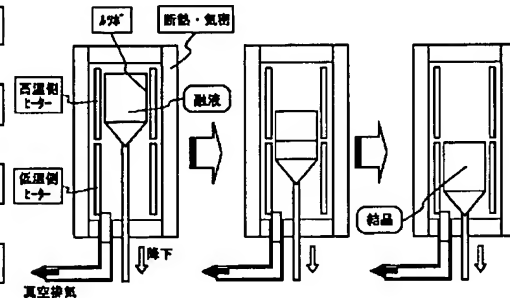
【図 15】 平行平板状の光学部材における α および β の概念を示す説明図である。

【図 16】 ラウエ法による光学部材の結晶面方位のマッピング測定図である。

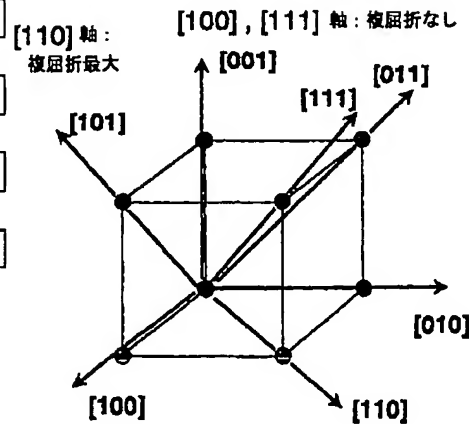
【図 1】



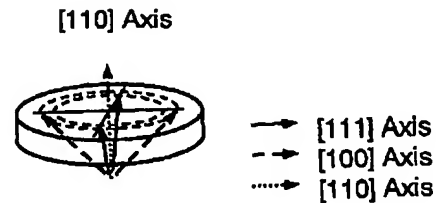
【図 2】



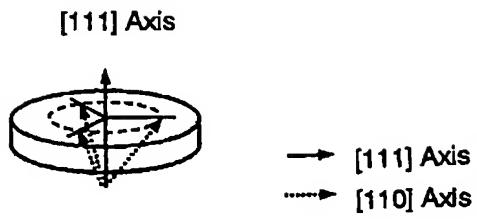
【図 3】



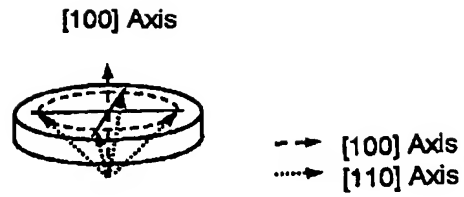
【図 6】



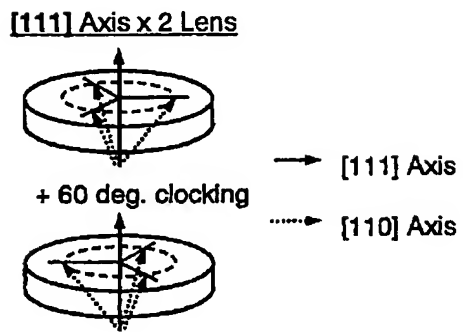
【図4】



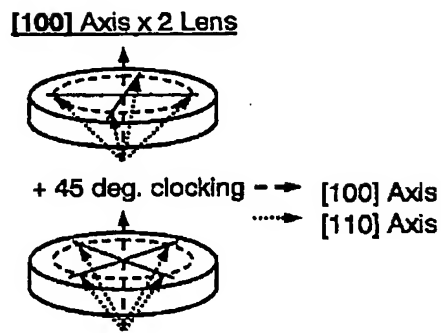
【図5】



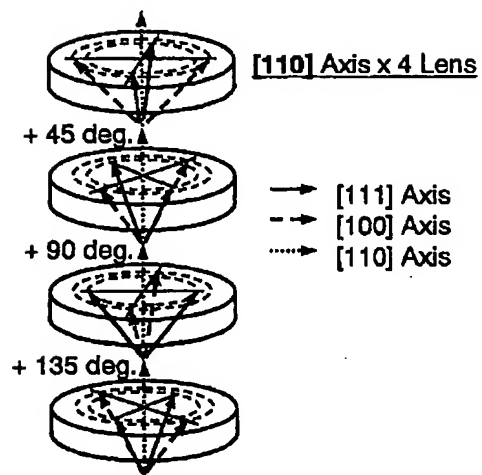
【図7】



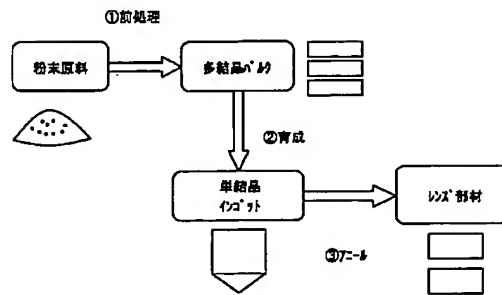
【図8】



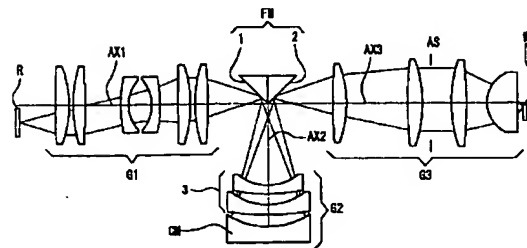
【図9】



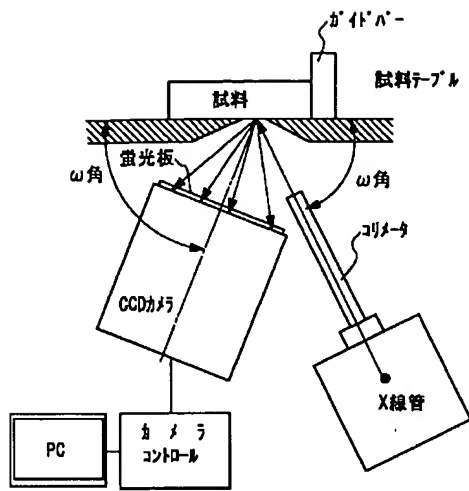
【図10】



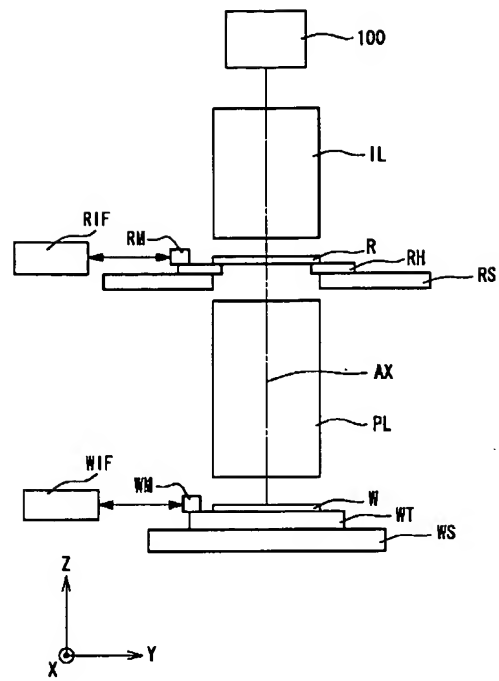
【図13】



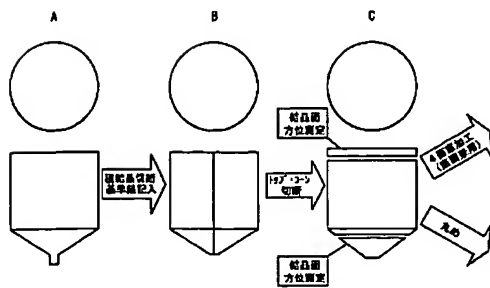
【図11】



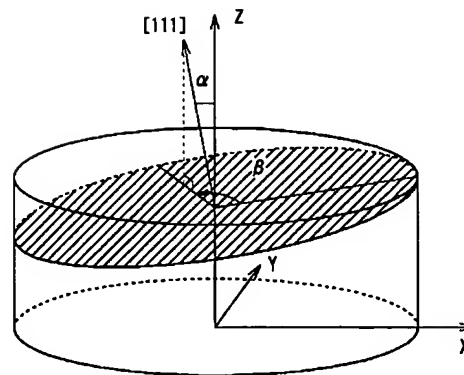
【図12】



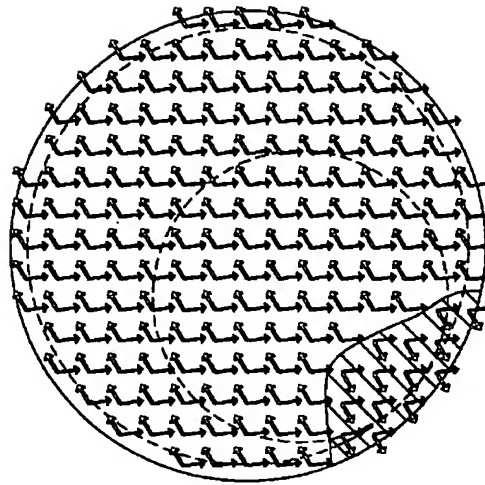
【図14】



【図15】



【図16】



→ <111> 軸方位
 ⇨ <100> 軸方位

フロントページの続き

(51)Int.Cl.⁷
 H 0 1 L 21/027

識別記号

F I
 H 0 1 L 21/30

テーマコード (参考)
 5 1 5 D

F ターム (参考) 2G001 AA01 AA07 AA10 BA11 BA19
 CA01 CA07 DA09 GA07 GA14
 HA12 KA04 KA07 KA08 KA20
 LA20 MA05 MA06 RA01 RA08
 SA02
 2H048 FA09 FA18 FA22
 2K009 AA02 BB04 DD08
 5F046 CB01

【公報種別】特許法第17条の2の規定による補正の掲載
 【部門区分】第6部門第1区分
 【発行日】平成17年8月25日(2005.8.25)

【公開番号】特開2003-161708(P2003-161708A)
 【公開日】平成15年6月6日(2003.6.6)
 【出願番号】特願2001-363584(P2001-363584)
 【国際特許分類第7版】

G 0 1 N 23/20
 G 0 2 B 1/02
 G 0 2 B 1/11
 G 0 2 B 5/26
 G 0 3 F 7/20
 H 0 1 L 21/027

【F I】

G 0 1 N 23/20
 G 0 2 B 1/02
 G 0 2 B 5/26
 G 0 3 F 7/20 5 2 1
 G 0 2 B 1/10 A
 H 0 1 L 21/30 5 1 5 D

【手続補正書】

【提出日】平成17年2月8日(2005.2.8)

【手続補正1】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】特許請求の範囲

【補正方法】変更

【補正の内容】

【特許請求の範囲】

【請求項1】

フッ化物結晶からなる光リソグラフィー用光学部材の評価方法において、
 前記光学部材の結晶面方位を測定する工程と、
 前記測定の結果に基づいて双晶の領域を特定する工程と、
 を有することを特徴とする光学部材の評価方法。

【請求項2】

請求項1に記載の光学部材の評価方法において、
 前記光学部材から製造する光学素子の有効領域に対して、前記特定した双晶の領域が占める割合を算出する工程と、
 を有することを特徴とする光学部材の評価方法。

【請求項3】

請求項1および2に記載の光学部材の評価方法において、
 前記光学部材の結晶面方位を測定する工程は、X線を前記光学部材に照射することにより行なうことを特徴とする光学部材の評価方法。

【請求項4】

請求項3に記載の光学部材の評価方法において、
 前記X線を前記光学部材に照射することにより行なう工程は、ラウエ法であることを特徴とする光学部材の評価方法。

【請求項5】

請求項4に記載の光学部材の評価方法において、ラウエ法は側面反射型であることを特

徴とする光学部材の評価方法。

【請求項 6】

請求項 1 ないし 5 に記載の光学部材の評価方法において、

前記双晶の領域は、前記光学部材から製造する光学素子の有効領域内における前記双晶の領域の光軸方向へ投影した領域の面積の和であり、

前記光学素子の有効領域は、前記光学素子の有効径面積であることを特徴とする光学部材の評価方法。

【請求項 7】

請求項 1 ないし 5 に記載の光学部材の評価方法において、

前記双晶の領域は、前記光学部材から製造する光学素子の有効領域内における前記双晶の領域の光軸方向へ投影した領域の面積の和であり、

前記光学素子の有効領域は、前記光学素子のパーシャル径面積であることを特徴とする光学部材の評価方法。

【請求項 8】

請求項 6 に記載の光学部材の評価方法において、

前記光学素子の有効領域内における前記双晶の領域の光軸方向へ投影した領域の面積の和が、前記光学素子の有効径面積に占める割合が、10% 以下の場合に使用可能と判断する工程であることを特徴とする光学部材の評価方法。

【請求項 9】

請求項 7 に記載の光学部材の評価方法において、

前記光学素子の有効領域内における前記双晶の領域の光軸方向へ投影した領域の面積の和が、前記光学素子のパーシャル径面積に占める割合が、10% 以下の場合に使用可能と判断する工程であることを特徴とする光学部材の評価方法。

【請求項 10】

波長 250nm 以下の波長帯域で使用される光リソグラフィー用光学部材であって、

前記光学部材から製造する光学素子の前記双晶の領域の光軸方向へ投影した領域の面積の和が、前記光学素子の有効径面積に占める割合が、10% 以下であることを特徴とする光学部材。

【請求項 11】

波長 250nm 以下の波長帯域で使用される光リソグラフィー用光学部材であって、

前記光学部材から製造する光学素子の前記双晶の領域の光軸方向へ投影した領域の面積の和が、前記光学素子のパーシャル径面積に占める割合が、10% 以下であることを特徴とする光学部材。

【請求項 12】

波長 250nm 以下の特定波長帯域で使用される光リソグラフィー用光学系の製造方法であって、

請求項 10 または 11 に記載の光学部材に対して、研削工程、研磨工程、および反射防止膜または反射膜のコーティングを施すことで所定の形状の光学素子を製造し、

前記光学素子を鏡筒に組込むことで光学系を構成することを特徴とする光リソグラフィー用光学系の製造方法。

【請求項 13】

波長 250nm 以下の特定波長帯域で使用される光リソグラフィー用露光装置の製造方法であって、

請求項 10 または 11 に記載の光学部材に対して、研削工程、研磨工程、および反射防止膜または反射膜のコーティングを施すことで所定の形状の光学要素を製造し、

前記光学要素を鏡筒に組込むことで光学系を構成し、

前記光学系を所定の位置に取り付けることを特徴とする光リソグラフィー用露光装置の製造方法。

【請求項 14】

波長 250nm 以下の特定波長帯域で使用される光リソグラフィー用光学系であって、

請求項 10 または 11 に記載の光学部材に対して、研削工程、研磨工程、および反射防止膜または反射膜のコーティングを施すことで所定の形状に製造された光学素子が少なくとも 1 個以上鏡筒に組込まれたことを特徴とする光リソグラフィー用光学系。

【請求項 15】

請求項 14 に記載の光リソグラフィー用光学系は、投影光学系であることを特徴とする光リソグラフィー用光学系。

【請求項 16】

波長 250nm 以下の特定波長帯域で使用される光リソグラフィー用露光装置であって、

請求項 14 または 15 に記載の光学系を組込んだことを特徴とする光リソグラフィー用露光装置の製造方法。

【請求項 17】

波長 250nm 以下の特定波長帯域で使用される光リソグラフィー用光学素子の製造方法であって、

フッ化物結晶からなる光学部材の結晶面方位を測定する工程と、

前記測定の結果に基づいて双晶の領域を特定する工程と、

前記光学部材から製造する光学素子の有効領域に対して前記特定した双晶の領域が占める割合に基づいて前記光学部材の使用可否を判断する工程と、

使用可能と判断された前記光学部材に対して、研削工程、研磨工程、および反射防止膜または反射膜のコーティングを施して所定の形状の光学素子を製造する工程と、を有することを特徴とする光リソグラフィー用光学素子の製造方法。

【請求項 18】

前記双晶の領域は、前記光学部材から製造する光学素子の有効領域内における前記双晶の領域の光軸方向へ投影した領域の面積の和であり、

前記光学素子の有効領域は、前記光学素子の有効径面積であることを特徴とする請求項 17 に記載の光リソグラフィー用光学素子の製造方法

【請求項 19】

前記双晶の領域は、前記光学部材から製造する光学素子の有効領域内における前記双晶の領域の光軸方向へ投影した領域の面積の和であり、

前記光学素子の有効領域は、前記光学素子のパーシャル径面積であることを特徴とする請求項 17 に記載の光リソグラフィー用光学素子の製造方法。